

뇌졸중 환자에서 호흡기능과 연하장애의 연관성

양혜은¹ · 박윤길¹ · 김선미²

¹연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 희귀난치성 신경근육병 재활연구소, ²제주대학교 의과대학 제주대학교병원 재활의학교실

Correlation between Respiratory Function and Dysphagia in Stroke Patients

Hea Eun Yang, M.D.¹, Yoon Ghil Park, M.D., Ph.D.¹, Sun Mi Kim, M.D.²

¹Department of Rehabilitation Medicine and Rehabilitation Institute of Neuromuscular Disease, Yonsei University College of Medicine, Seoul, ²Department of Rehabilitation Medicine, Jeju National University Hospital, Jeju University School of Medicine, Jeju, Korea

Objective: Dysphagia is a very common complication of stroke and is can be a marker of poor prognosis. In addition altered respiratory function is also observed in stroke patients. The purposes of this study are to find out correlations between dysphagia and respiratory function, and if specific parameter of respiratory function can screen patients at high risk of aspiration.

Method: 37 adult stroke patients were enrolled (18 in aspirated group, 19 in non-aspirated group). All patients underwent video fluoroscopic swallowing study (VFSS) and pulmonary function test (PFT) including forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume at one second (FEV1), and peak cough flow (PCF). Diaphragmatic motion during breathing was measured through fluoroscope and end-tidal CO2 (EtCO2) was measured on resting state. Patients were separated into two groups in term of aspiration on VFSS.

Result: The FVC of aspirated group ($48.5 \pm 14.1\%$) was significantly lower than that of non-aspirated group ($57.2 \pm 9.95\%$) ($P=0.036$). The FEV1 of aspirated group ($43.3 \pm 15.3\%$) was also significantly lower than that of non-aspirated group ($53.8 \pm 15.6\%$) ($P=0.047$). Other parameters and patient characteristics did not show significant differences.

Conclusion: FVC is considered an important factor to expect aspiration on swallowing in stroke patients. So PFT including FVC and FEV1 could be a useful method to screen stroke patients at high risk of aspiration. (JKDS 2014;4: 23-27)

Keywords: Stroke, Dysphagia, Pulmonary function test

서론

뇌졸중 후에는 중추성 횡격막 기능장애(central dia-

phragmatic dysfunction)가 동반되며, 뇌졸중으로 인한 운동장애는 횡격막 움직임(diaphragmatic motion)의 제한을 야기하고 이는 폐용적의 감소로 이어진다¹. 마비로

투고일: 2014년 1월 3일, 심사일: 2014년 1월 6일, 게재확정일: 2014년 1월 8일

책임저자 : 박윤길, 서울시 강남구 언주로 211

(135-720) 연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 희귀난치성 신경근육병 재활연구소

Tel: 02) 2019-3490, Fax: 02) 3463-7585

E-mail: drtlc@yuhs.ac

Copyrights © The Korean Dysphagia Society, 2014.

인한 호흡근육의 위상성(phasic)과 긴장성(tonic) 운동양상의 변화는 호흡근육의 약화와 호흡양상의 변화, 그리고 폐용적의 감소를 일으켜 호흡기계의 중대한 변화를 초래한다^{2,3}. 이러한 기전을 통해 감소된 폐 용적은 뇌졸중 환자에서 제한성 호흡 질환(restrictive respiratory disease)을 야기한다³.

호흡기능과 연하작용은 여러 해부학적 구조를 공유하며 기도보호라는 중요한 기능을 담당하는데, 특히 기침과 연하작용은 둘 다 기도보호행태(airway-protective behavior)로 인두, 후두, 기관의 수용체가 연수로 신호를 전달함으로써 시작되며 behavior control assemblies (BCAs)라는 뇌간의 네트워크를 공유한다^{4,5}. 신경학적 질환인 파킨슨병 환자에서 호기최대유량(expiratory phase peak flow)의 정량적 측정을 통해 연하장애를 예측할 수 있으며 뇌졸중 환자에서 연하장애가 있는 경우 연하장애가 없는 경우 보다 노력성폐활량(forced vital capacity, FVC)과 최대기침유량(peak cough flow, PCF)이 낮은 것으로 확인되었다^{6,7}. 뇌졸중 환자에서 감각저하로 인한 후두반사기침(laryngeal reflex cough)의 감소가 흡인성 폐렴의 지표가 되며 수의적 기침(voluntary cough)의 정량적 측정을 통해 기도흡인의 위험도를 평가한 연구에서는 정상군에 비해 기도흡인이 있는 뇌졸중환자에서 흡기와 호기시의 최대유량 등이 더 낮음을 밝혔다^{8,9}. 또한 강한 수의적 기침은 음식물이 기도로 들어간 이후에도 이물제거를 통해 흡인성 폐렴을 줄일 수 있어, 삼킴 중 투과(penetration)나 흡인이 발생하더라도 기침을 통해 흡인성 폐렴의 발생을 낮출 수 있다^{9,10}.

뇌졸중 환자에서 기도흡인은 흔하게 나타나며, 이는 흡인성 폐렴 등의 중대한 합병증을 일으키므로 기도흡인을 발견하고 적절한 치료를 시행하는 것이 예후에 매우 중요하다^{11,12}. 기도흡인을 진단하는데 표준검사로 사용되는 비디오투시연하검사(video fluoroscopic swallowing study, VFSS)는 진단에 매우 민감하지만 많은 경우 검사를 하기까지 시간이 걸리고 환자의 자세나 협조에 따라 검사에 제한이 있다¹³. 비디오투시연하검사 전 미리 기도흡인의 고위험군을 알 수 있다면 검사가 필요한 환자를 선별할 수 있고 비디오투시연하검사를 통한 진단 전에 보다 빠른 중재를 통해 기도흡인을 예방할 수 있을 것이다. 기도흡인의 고위험군을 찾아내는 방법에는 임상증상으로 선별하는 방법과 여러 가지 침상검사(bedside test)를 시행하는 방법이 널리 사용되고 있으나, 이러한 방법은 뇌졸중 후 발생하는 기도흡인을 진단하거나 환자의 치료에 활용하기에는 부적합한 것으로 나타났다¹⁴. 삼킴 반응 없음(absent

swallow), 분비물 처리 곤란(difficulty handling secretions), 물 삼킴 후 기침 반사(reflex cough after water bolus) 등의 임상증상은 민감도 58%, 특이도 83%로 나타났다¹⁵ 여러 방법의 침상검사 결과를 비디오투시연하검사와 대조한 연구에 따르면 민감도는 42-92%, 특이도는 59-91%로 나타났으며 검사자간 신뢰도 역시 다양한 것으로 확인되었다^{4,11}. 이에 따라 임상증상이나 침상검사를 보완할 수 있는 간편하고 정확한 평가방법의 필요성이 대두되고 있다.

위에서 언급한 바와 같이 호흡기능과 연하장애는 밀접한 관계가 있으나 이에 대한 연구는 매우 제한적으로 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 뇌졸중 환자에서 연하장애와 호흡기능의 연관성을 알아보고 연하장애와 관련된 지표를 파악하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구대상

뇌졸중으로 인한 연하장애를 호소하는 재활의학과 입원 환자 37명을 대상으로 하였다. 포함기준은 자기공명영상과 컴퓨터단층촬영을 통해 최초로 뇌경색 또는 뇌출혈을 진단받은 환자, 18세 이상의 성인, 심폐질환이 없는 경우, 검사를 충분히 이해하고 수행할 만한 인지기능, 의자에 앉은 자세를 유지하고 비디오투시연하검사와 최대노력으로 폐활량 측정이 가능한 경우로 하였다. 기존에 연하장애가 있었거나 기관절개를 시행한 환자는 연구에서 제외하였다. 모든 환자에서 발병 1년 이내인 시점에 검사를 시행했다.

2. 방법

모든 환자에서 비디오투시연하검사를 시행 하였고, 비디오투시연하검사 시행 당일 호흡기능 평가를 시행하였다. 호흡기능 평가를 위해 노력성폐활량, 최대기침유량, 1초간 강제호기량(forced expiratory volume at one second, FEV1)을 측정하였다. 침상 혹은 휠체어에 앉은 자세에서 코와 입을 완전히 덮도록 안면부에 마스크를 밀착하고 이동형 폐활량계(portable spirometer)(Micro[®], Micro Medical Ltd., England)와 기침유량측정기(Assess[®], Respironics, United States) 사용하여 측정하였다. 노력성폐활량에 대한 1초간 강제호기량의 비율을 구하였고 측정된 폐활량, 최대기침유량, 1초간 강제호기량을 각각 정상예측치와 비교한 비율을 계산하였다. 투시검사는 앉은 자세에서 최대 호기와 흡기를 한 상태에서 횡격막의 움직

임을 감지할 수 있는 기준으로 양측을 각각 측정하였다. 호기말 이산화탄소분압은 환자가 앉아서 편하게 숨을 쉬는 상태에서 이동형 이산화탄소분압측정기(portable capnograph) (Microstream[®], Oridion Medical Ltd., Israel)의 탐촉기(probe)를 환자의 코에 대고 3차례 이상 측정 하여 평균을 구하였다. 비디오투시연하검사는 한 명의 재활의학과 전문의가 관독했고, 호흡기능 평가는 비디오투시연하검사의 결과를 모르는 다른 재활의학과 의사가 시행하였다. 기도흡인은 검사 중 어느 때라도 음식물이 성대주름을 통과하는 경우로 정의하였고, 성대주름 통과 후 기침 등을 통해 음식물이 제거된 경우는 고려하지 않았다. 호흡기능 평가 전 1주 이내에 인지를 한국형 간이정신상태검사(K-MMSE, Korean mini-mental state examination)로 평가하였고, 기능적 상태는 기능적 독립성측정(FIM, functional independence measure)으로 평가하였다. 비디오투시연하검사로 확인된 기도흡인이 있는 군과 없는 군의 두 그룹으로 분류하였고 두 그룹의 특성은 Table 1에 나타냈다.

3. 통계분석

두 군간의 특성을 비교하기 위해 독립표본 T 검정(independent-T test) (나이, 이환 기간, 신체질량지수, 기능적 독립성측정, 한국형 간이정신상태검사)과 카이제곱 검정(χ^2 test) (성별, 뇌졸중부위, 마비부위)을 시행하였다. 정규성 검정 후 노력성폐활량, 최대기침유량, 1초간 강제

호기량, 1초간 강제호기량/노력성폐활량, 호기말 이산화탄소분압은 독립표본 T 검정으로, 횡격막 움직임은 Mann-Whitney 검정으로 분석하였다. 노력성폐활량과 1초간 강제호기량이 서로 혹은 환자의 특성들과 상관관계를 갖는지 확인하고자 Pearson의 상관계수(Pearson's correlation coefficients)를 구하였다.

결과

37명의 환자 중 비디오투시연하검사 상 기도흡인은 18명(48.6%)에서 관찰되었다. 기도흡인이 있는 군(18명)과 없는 군(19명)의 일반적인 특성은 통계학적으로 차이가 없었다(Table 1). 키와 나이를 고려한 정상 예측치에 대한 노력성폐활량의 비율은 기도흡인이 발생하지 않은 군에서 $57.2 \pm 9.9\%$, 기도흡인이 발생한 군에서 $48.5 \pm 14.1\%$ 로 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P=0.036$). 키와 나이를 고려한 정상 예측치에 대한 1초간 강제호기량의 비율은 기도흡인이 발생하지 않은 군에서 $53.8 \pm 15.6\%$, 기도흡인이 발생한 군에서 $43.3 \pm 15.3\%$ 로 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P=0.047$). 노력성폐활량과 1초간 강제호기량은 기능적 상태와는 상관관계를 보이지 않았으나 두 가지는 서로 상관계수 0.767로 양의 상관관계를 가졌다. 기도흡인군과 비흡인군에서 기능적 독립성측정과 간이정신상태검사 점수는 차이를 보이지 않았다.

호흡기능 평가 항목 중 호기 능력을 반영하는 최대기침 유량은 기도흡인이 있는 군에서 195.6 ± 86.4 ml, 기도흡인이 없는 군에서 222.6 ± 87.1 ml ($P=0.349$), 노력성폐활량에 대한 1초간 강제호기량의 비율은 기도흡인이 있는 군에서 $59.5 \pm 18.2\%$, 기도흡인이 없는 군에서 $63.8 \pm 13.1\%$ ($P=0.425$)로 두 가지 항목 모두 기도흡인이 있는 군에서

Table 1. Characteristics of subjects.

	No aspiration on VFSS	Aspiration on VFSS	P-value
Number	19	18	
Sex, male	9 (47.4%)	12 (66.7%)	0.236
Mean Age (yr)	58.9 ± 14.4	58.8 ± 14.2	0.990
Disease duration (days)	54.6 ± 83.6	77.7 ± 99.6	0.450
Lesion			0.262
Supratentorial (%)	14 (73.7%)	10 (55.6%)	
Infratentorial (%)	5 (26.3%)	8 (44.4%)	
Hemi side			0.199
Rt. Side (%)	7 (36.8%)	5 (27.8%)	
Lt. side (%)	10 (52.6%)	7 (38.9%)	
Quadri (%)	2 (10.5%)	6 (33.3%)	
K-MMSE	25.9 ± 2.7	24.8 ± 4.0	0.328
FIM	80.1 ± 25.6	80.3 ± 27.1	0.944

K-MMSE: Korean mini-mental state examination, FIM: functional independence measure.

Table 2. Spirometric parameters, diaphragm motion and EtCO₂.

	No aspiration on VFSS	Aspiration on VFSS	P-value
FVC (%)	57.2 ± 9.9	48.5 ± 14.1	0.036
FEV1 (%)	53.8 ± 15.6	43.3 ± 15.3	0.047
FEV1/FVC (%)	63.8 ± 13.1	59.5 ± 18.2	0.425
PCF (ml)	222.6 ± 87.1	195.6 ± 86.4	0.349
Diaphragm motion, Rt. (rib)	1.6 ± 0.5	1.1 ± 0.5	0.004
Diaphragm motion, Lt. (rib)	1.4 ± 0.5	1.1 ± 0.5	0.053
Mean EtCO ₂ (mmHg)	35.0 ± 7.4	35.0 ± 5.7	0.996

FVC: forced vital capacity, FEV1: forced expiratory volume at one second, PCF: peak cough flow, EtCO₂: end-tidal CO₂.

더 낮은 경향성을 보였으나 통계적 유의성은 없었다.

횡격막의 움직임은 우측에서는 두 군간에 통계적으로 유의한 차이를 보였으나($P=0.004$) 좌측에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 호기말 이산화탄소분압은 두 군에서 차이를 보이지 않았다. 모든 결과는 Table 2에 나타났다.

고찰

뇌졸중 후에는 마비측의 횡격막과 늑간근, 복근의 약화가 발생하며 정상군에 비해 호흡하는 동안 흉곽 움직임의 기여도가 낮아져 결과적으로 폐용적의 감소를 초래한다¹⁻³. 그러나 뇌졸중환자에서 이러한 폐용적의 감소가 기도흡인과 어떠한 연관성을 가지는지는 밝혀진 바가 없다. 연하작용 동안에는 기도흡인을 막기 위해 대략 0.3-1초간의 호흡정지(breathing pause)가 일어나는데 이러한 삼킴 중 무호흡(swallow apnea)은 호기의 마지막 시기부터 시작되어 다음 호흡주기 시작 직전까지 지속되며 이 시간은 음식물의 덩어리(bolus)가 클수록 길어진다^{15,16}. 삼킴 중 무호흡은 삼킴 중 기도흡인을 예방하는 중요한 기전 중 하나로 폐용적이 큰 경우 그렇지 않은 경우보다 삼킴 중 무호흡이 긴 시간 동안 완전하게 일어나 기도흡인 예방효과가 있었으리라 생각된다¹⁶. 실제로 만성 폐쇄성 폐질환 환자들에서 삼킴 중 무호흡 기간이 정상인에 비해 짧은 것을 확인하였고(정상군 654 ms, COPD 환자군 641 ms) 이렇게 호흡-삼킴의 조화가 깨짐으로 만성 폐쇄성 폐질환 환자들에서 기도흡인의 위험도가 증가한다고 보고된 바가 있다¹⁷.

본 연구에서 기도흡인이 발생한 군에서 그렇지 않은 환자들보다 노력성폐활량이 낮았고, 노력성폐활량에 대한 1초간 강제호기량의 비율은 유의한 차이 없이 1초간 강제호기량의 값이 낮게 측정되어, 기도흡인이 있는 뇌졸중 환자에서 기능적폐용적이 보다 낮음을 확인하였다.

호흡기능 중 주로 호기 능력, 특히 기침은 기도보호 기전이라는 측면에서 기도흡인과 밀접한 연관이 있으며 수의적 기침과 반사 기침 모두에서 기침의 강도와 기도흡인의 위험도가 상관관계가 있다는 결론을 도출한 연구도 있었다¹⁸. 본 연구에서는 호기기능을 나타내는 최대기침유량과 노력성폐활량에 대한 1초간 강제호기량의 비율은 기도흡인이 있는 군에서 더 작은 경향성은 보이나 그 차이가 통계적으로 의미 있지는 않았다(Table 2). 본 연구의 대상군이 총 37명으로 적은 수임을 감안하였을 때 추후 더 많은 환자를 대상으로 호기기능에서 어떠한 차이를 보일지 확인이 필요하겠으나, 호기기능보다 폐용적 자체가 기

도흡인과 더 연관성이 있다고 생각된다.

호기말 이산화탄소분압은 두 군간 차이를 나타내지 않았는데, 이는 기도흡인이 있는 군의 폐용적 감소가 휴식 중 환기저하를 일으킬 수준은 아님을 시사한다고 하겠다.

기도흡인이 있는 경우 폐용적이 더 적어 양측 횡격막의 움직임도 저하되어 있으리라 기대했는데, 우측에서는 두 군간 유의한 차이를 보였으나 좌측에서는 차이를 보이지 않았다. 2011년에 이루어진 Widdicombe 등의 연구에 따르면 횡격막의 움직임을 엑스선 투시로 촬영 한 후 비디오로 기록해 숙련된 두 명의 의사가 각각 비디오를 재생하면서 cm 단위로 측정했을 때 신뢰성을 가진다고 했다¹⁹. 뇌졸중 환자에서 횡격막의 움직임을 측정한 다른 연구에서도 엑스선 투시화면에서 횡격막의 움직임을 mm 단위로 측정하여 결론을 도출하였었다^{1,20}. 본 연구에서는 실시간으로 횡격막 움직임을 측정했는데 방사선 조사를 줄이고 또 최대호기, 흡기 중 호흡을 참는 시간 동안의 빠른 측정을 위해 갈비뼈를 기준으로 횡격막 움직임을 측정했다. 때문에 정밀한 측정이 되지 않았을 가능성이 높아 추후 연구에서 횡격막움직임을 측정할 때는 비디오로 기록하여 반복 재생을 통해 더 정밀한 단위로 측정을 할 필요가 있겠다.

본 연구는 환자의 협조가 필수적인 폐기능검사의 특성상 MMSE가 전체평균 25.4점, FIM이 전체평균 81점으로 인지와 기능이 비교적 잘 유지되는 환자를 대상으로 하였기 때문에 선택오차의 가능성이 있고, 대상이 총 37명으로 적다는 제한점이 있다. 이러한 제한점들을 보완하고, 비디오투시연하검사 중 투과 또는 기도흡인에 따른 반사성 혹은 수의적 기침이 동반되었는지 여부와 추적관찰을 통해 실제 흡인성 폐렴의 발생여부를 추가조사 한다면 보다 명확히 연하장애와 폐기능의 관련성을 밝힐 수 있으리라 기대한다. 또한 향후 호흡기능이 호전되면 연하장애도 회복이 되는지에 대한 추적관찰 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론

본 연구는 뇌졸중으로 인한 연하장애가 있는 환자에서 호흡기능과의 연관성을 밝힌 연구로, 기도흡인이 있는 경우 노력성폐활량, 1초간 강제호기량 등의 기능적 폐용적이 저하되어 있음을 확인하였다. 또한 본 연구는 침상에서 간단하게 시행할 수 있는 폐기능 검사를 통해 추후 기도흡인의 고위험군을 선별하는 인자로 활용하여 보다 빠른 중재를 통해 기도흡인으로 인한 합병증을 예방할 수

있는 가능성을 보여주었다.

REFERENCES

1. Khedr EM, Shinawyb OE, Khedr T, Alid YAA, Awad EM. Assessment of corticodiaphragmatic pathway and pulmonary function in acute ischemic stroke patients. *Eur J Neurol*. 2000;7:323-30.
2. Lanini B, Bianchi R, Romagnoli I, Coli C, Binazzi B, Gigliotti F, et al. Chest wall kinematics in patients with hemiplegia. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;168(1):109-13.
3. Lima IN, Fregonezi GA, Rodrigo M, Cabral EE, Aliverti A, Campos TF, et al. Acute effects of volume-oriented incentive spirometry on chest wall volumes in patients after stroke. *Respir Care*. 2013; Nov 12.(Epub ahead of print)
4. Hammond CAS, Goldstein LB, Horner RD, Ying J, Gray L, Gonzalez-Rothi L, et al. Predicting aspiration in patients with ischemic stroke: comparison of clinical signs and aerodynamic measures of voluntary cough. *Chest*. 2009;135:769-77.
5. Pitts T, Morris K, Lindsey B, Davenport P, Poliacsek I, Bolser D. Co-ordination of cough and swallow in vivo and in silico. *Exp Physiol*. 2012;97(4):469-73.
6. Pitts T, Troche M, Mann G, Rosenbek J, Okun MS, Sapienza C. Using voluntary cough to detect penetration and aspiration during oropharyngeal swallowing in patients with Parkinson disease. *Chest*. 2010;138(6):1426-31.
7. Kimura Y, Takahashi M, Wada F, Hachisuka K. Differences in the peak cough flow among stroke patients with and without Dysphagia. *J UOEH*. 2013;35(1):9-16.
8. Addington WR, Stephens RE, Gilliland KA. Assessing the laryngeal cough reflex and the risk of developing pneumonia after stroke: an interhospital comparison. *Stroke*. 1999;30:1203-7.
9. Hammond CAS, Goldstein LB, Zajac DJ, Gray L, Davenport PW, Bolser DC. Assessment of aspiration risk in stroke patients with quantification of voluntary cough. *Neurology*. 2001;56:502-6.
10. Kanai N, Kurabayashi H, Nakamata N, Yamamoto E, Hishinuma A, Suzuki E, et al. Successful treatment of pulmonary aspiration due to brainstem infarction by using cough exercise based on swallowing scintigraphy: preliminary observations. *Dysphagia*. 2009;24:434-7.
11. Ramsey DJC, Smithard DG, Kalra L. Early assessments of dysphagia and aspiration risk in acute stroke patients. *Stroke*. 2003;34:1252-7.
12. Doggett DL, Tappe KA, Mitchell MD, Chapell R, Coates V. Dysphagia prevention of pneumonia in elderly stroke patients by systematic diagnosis and treatment of dysphagia 2001;16:179-295.
13. O'Donoghue S, Bagnall A. Videofluoroscopic evaluation in the assessment of swallowing disorders in paediatric and adult populations. *Folia Phoniatr Logop*. 1999;51: 158-71.
14. McCullough GH, Rosenbek JC, Wertz RT, McCoy S, Mann G, McCullough K. Utility of clinical swallowing examination measures for detecting aspiration post-stroke. *J Speech Lang Hear Res*. 2005;48:1280-93.
15. Costa MM, Lemme EM. Coordination of respiration and swallowing functional pattern and relevance of vocal folds closure. *Arq Gastroenterol*. 2010;47(1):42-8.
16. Palmer JB, Pelletier CA, Matsuo K. Rehabilitation of patients with swallowing disorders. In: Braddom RL, ed. *Physical medicine and rehabilitation*. 4th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2011:581-97.
17. Gross RD, Atwood CW Jr, Ross SB, Olszewski JW, Eichhorn KA. The coordination of breathing and swallowing in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2009;179(7):559-65.
18. Widdicombe JG, Addington WR, Fontana GA, Stephens RE. Voluntary and reflex cough and the expiration reflex; implications for aspiration after stroke. *Pulm Pharma Ther*. 2011;24(3):312-7.
19. Yi LC, Nascimento OA, Jardim JR. Reliability of an analysis method for measuring diaphragm excursion by means of direct visualization with videofluoroscopy. *Arch Bronconeumol*. 2011;47(6):310-4.
20. Noh DK, Lee JJ, You JH. Diaphragm breathing movement measurement using ultrasound and radiographic imaging: a concurrent validity. *Biomed Mater Eng*. 2014; 24(1):947-52.